

М. А. Головнин*

ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод», г. Каменск-Уральский,
Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**max-golovnin@yandex.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *Ю. Н. Логинов*

ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ ПЛОСКОГО ПРОКАТА ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК4–1

Выполнено статистическое исследование характеристик прочности плоского проката из алюминиевого сплава АК4–1 на основе обработки промышленных данных. Показано, что выборку характеристик прочности отличает значительный рассев. Выявлено два максимума прочностных свойств в функции от толщины проката. Проблемными являются области производства тонких листов, получаемых методом холодной прокатки, а также толстых листов и плит. Указано на необходимость проведения структурного и текстурного анализа для выявления причин явлений.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, плоская прокатка, прочность, статистический анализ.

М. А. Golovnin

ESTIMATION STATISTICAL CHARACTERISTIC THE RESISTANCE FLAT ROLLING OF A ALUMINIUM ALLOY AK4–1

Statistical analysis of the strength characteristics of flat-rolled aluminum alloy AK4–1 based on industrial data processing is performed. Sample strength characteristics is described significant sieving. Two high strength maximums of properties as a function of the thickness of the sheets is identified. Thin sheets of production area, produced by cold rolling, are areas of concern are as well as thick plates. The need for structural and textural analysis to identify the causes of phenomena is indicated.

Keywords: aluminum alloy, the flat-rolling, the strength, the statistical analysis.

Жаропрочные сплавы системы Al–Cu–Mg–Fe–Ni, к которым относится сплав АК4-1 по химическому и фазовому составам близки к дуралюминам, но вместо марганца в качестве легирующих элементов содержат железо и никель. Первоначально сплавы такого типа относили к ковочным, поэтому они не были внесены в стандарты, относящиеся к плоскому прокату. Однако со временем их стали применять для изготовления изделий из плоского проката, в результате на изготовление

такого проката появились нормативные документы: ТУ 1-92-47-77 (Листы из алюминиевого сплава марки АК4-1ч с нормальной плакировкой), ТУ 1-92-48-77 (Листы из алюминиевого сплава марки АК4-1ч с утолщенной плакировкой), ОСТ 1 90117-83 (Плиты авиационные из алюминиевого сплава марки АК4-1ч), ТУ 1-804-126-89 (Плиты из сплава марки АК4-1ч), ТУ 1-804-387-99 (Плиты из алюминиевых сплавов марок АК4-1, АК4-1ч, В95, В95пч, В95оч, Д16, Д16ч, Д19, Д19ч, Д20, 1163, 1201, 1980, 1985ч).

Сплав АК4-1 (цифровое обозначение 1141) используется для изготовления деталей реактивных двигателей (крыльчатые насосы, колеса, компрессоры, заборники, диски, лопатки и др.).

В данной работе выполнен статистический анализ свойств проката из сплава АК4-1, полученного в условиях ОАО «Каменск-Уральский металлургический завод». Исследованию подвергли выборку объемом 2720 позиций. В соответствии с нормативными документами измерены: временное сопротивление разрушению, условный предел текучести, относительное удлинение до разрыва. Свойства измерены вдоль направления ширины проката.

Вначале осуществлена обработка данных в полном объеме выборки из 2720 позиций без деления по состоянию проката (холоднокатаный, горячекатаный), видам термообработки и т. д. Распределение временного сопротивления по толщинам проката приведено на рис. 1. Как видно из графика, просматривается слабая зависимость с двумя максимумами – в области получения горячекатаного состояния при малых толщинах и получения горячекатаных плит. Меньшей прочностью обладают холоднокатаные листы и плиты толщиной до 100 мм.

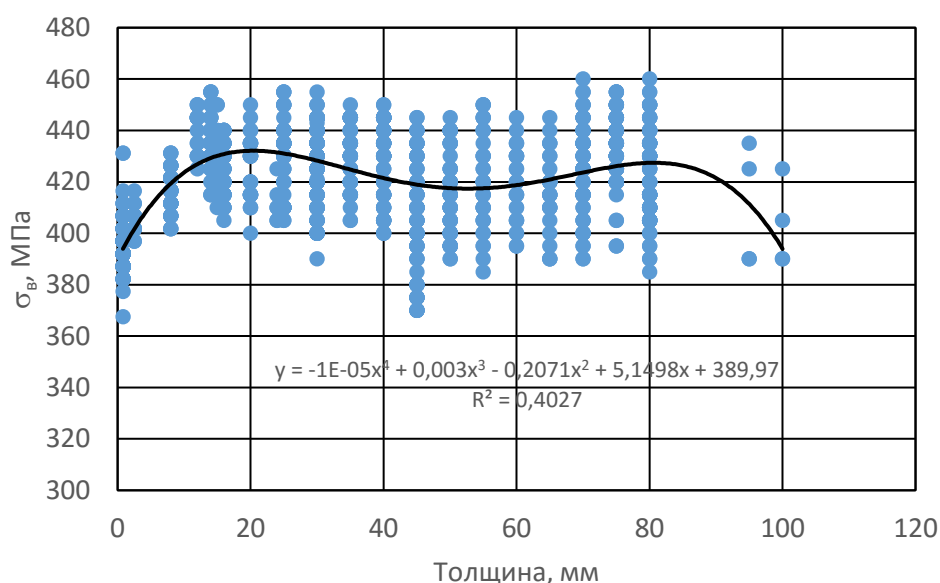


Рис. 1. Временное сопротивление разрыву в зависимости от толщины проката

На рис. 2 представлена частотная диаграмма для временного сопротивления разрыву. Внешний вид диаграммы свидетельствует о слабом соответствии закону нормального распределения. При этом характер зависимости напоминает бимодальный, поскольку присутствуют два максимума (410 и 440 МПа) вместо одного, характерного для нормального распределения. Это говорит о том, что выборка не является однородной, ее надо разделить по пока неизвестному признаку на несколько выборок. Для выборки характерен также повышенный рассев данных, о чем говорит невысокая величина коэффициента достоверности аппроксимации (на уровне 0,4).

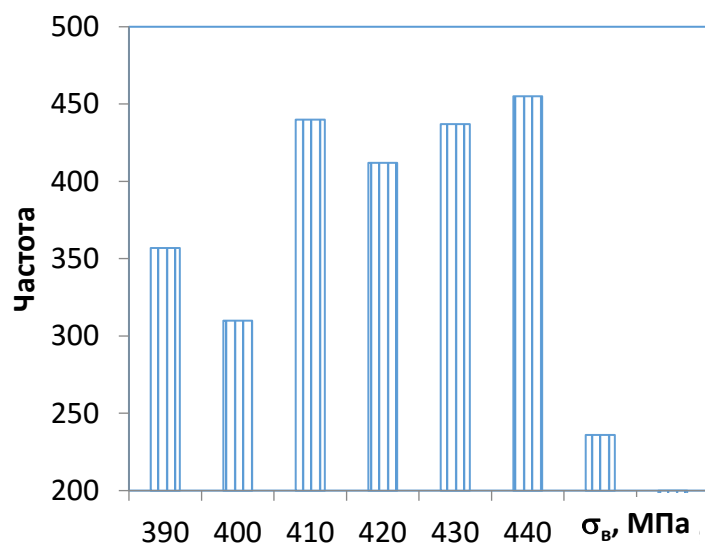


Рис. 2. Частотная диаграмма временного сопротивления разрыву при полном объеме выборки

Поэтому на следующем этапе выборку разделили по виду термической обработки листов: Т – закаленные и естественно состаренные (рис. 3) и Т1 – закаленные и искусственно состаренные (рис. 4).

Как видно из представленных графиков, для состояния Т зафиксирован максимум временного сопротивления на уровне 440 МПа, а для состояния Т1 – для значения 410 МПа. Эти значения соответствуют локальным максимумам на общей диаграмме (рис. 2), что косвенно поясняет происхождение двух максимумов.

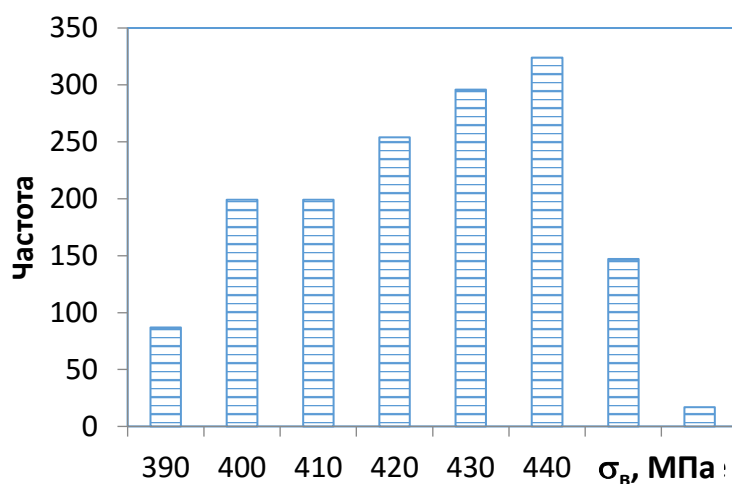


Рис. 3. Частотная диаграмма временного сопротивления разрыву при объеме выборки для состояния Т

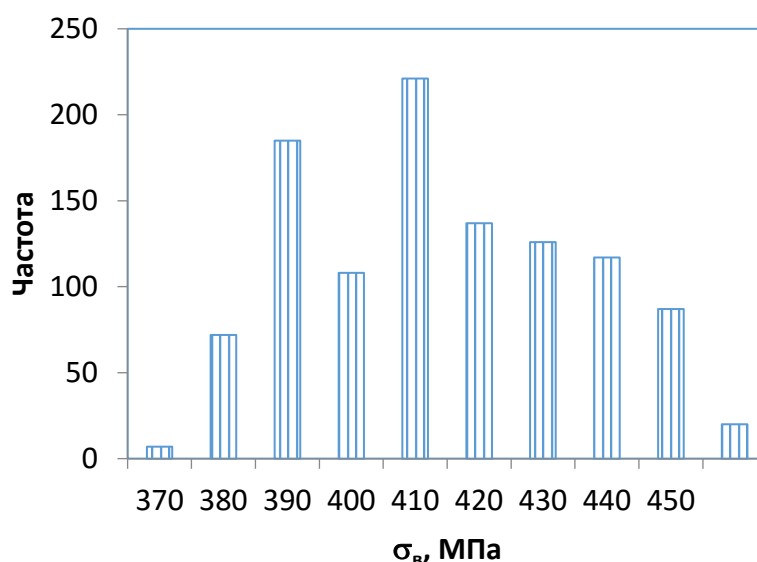


Рис. 4. Частотная диаграмма временного сопротивления разрыву при объеме выборки для состояния Т1

В таблице приведена статистическая оценка временного сопротивления разрыву для двух состояний поставки. Видно, что закаленные и естественно состаренные полосы обладают большей средней прочностью, чем искусственно состаренные, различие составляет 10 МПа. Естественное старение приводит к меньшей примерно в полтора раза дисперсии, что можно объяснить тем, что условия его проведения более стабильны, чем для искусственного старения, где для проведения процесса требуется дополнительно обеспечить равномерно распределенное во времени и пространстве тепловое воздействие.

Статистическая оценка временного сопротивления разрыву

Характеристика	Состояние поставки	
	T	T1
Среднее	420	410
Стандартная ошибка	0,468	0,694
Медиана	421	410
Мода	435	382
Стандартное отклонение	18,28	22,81
Дисперсия выборки	334,33	520,51

На ряд вопросов путем применения только статистического анализа не удалось получить ответа. В частности, выявленный большой рассев опытных данных может являться следствием различного структурного состояния алюминиевых сплавов, что отмечалось в работах [1–3], а также текстурного состояния, на что указывалось в работе [4]. В том числе мало изученным является вопрос о влиянии наследственности неравномерного распределения деформаций при прокатке толстых листов на механические свойства проката [5], а также неравномерного распределения температуры в операциях закалки и старения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логинов Ю. Н., Дегтярева О. Ф. Влияние скорости деформации на эффект структурного упрочнения прессованных труб из алюминиевого сплава 6061 // Технология легких сплавов. 2007. № 4. С. 123–127.
2. Логинов Ю.Н., Дегтярева О.Ф., Антоненко Л.В. Особенности формирования свойств горячепрессованной трубной заготовки из сплава АМг6 // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2008. № 7. С. 14–17.
3. Логинов Ю.Н., Илларионов А.Г. Неравномерность структуры прессованных труб из алюминиевого сплава АМг6 // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2013. № 6. С. 35–40.
4. Взаимосвязь кристаллографических ориентировок зерен при горячей деформации и рекристаллизации в алюминиевом сплаве АМг6 / Г. М. Русаков [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. 2014. № 12 (714). С. 15–21.
5. Логинов Ю.Н., Середкина М.Ю. Исследование скоростного режима прокатки сляба из алюминиевого сплава с использованием МКЭ // Технология легких сплавов. 2015. № 3. С. 121–126.